

Karakterisasi Unjuk Kerja *Diesel Engine Generator Set* Sistem *Dual Fuel Solar-Syngas* Hasil Gasifikasi Briket *Municipal Solid Waste* (MSW) Secara Langsung

Achmad Rizkal Dan Bambang Sudarmanta

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: sudarmanta@me.its.ac.id

Abstrak—Sejalan dengan semakin banyaknya kebutuhan energi untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar maka perlu adanya pengembangan gas biomassa sebagai bahan bakar alternatif pada motor pembakaran dalam maka akan dilakukan penelitian mengenai aplikasi sistem *dual fuel* gas hasil gasifikasi biomassa *municipal solid waste* (MSW) pada sistem *downdraft* dengan minyak solar pada motor *diesel stasioner*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar solar yang tersibtitusi dengan adanya penambahan *syngas* yang disalurkan secara langsung. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan proses pemasukan aliran *syngas* yang dihasilkan *downdraft Municipal Solid Waste* (MSW) kedalam saluran udara mesin diesel generator set secara langsung menggunakan sistem mixer. Pengujian dilakukan dengan putaran konstan 2000 rpm dengan pembebanan bervariasi dari 200 watt sampai dengan 2000 watt dengan interval 200 watt. Bahwa produksi *syngas* dari reaktor gasifikasi ditambahkan sistem *bypass* untuk mengetahui kesesuaian antara reaktor gasifikasi dan mesin generator set data in *syngas* yang dibutuhkan mesin diesel, in *syngas* yang di *bypass* untuk mendapatkan kesesuaian antara produksi *syngas* dan yang di *bypass*. Data-data yang diukur dari penelitian ini menunjukkan bahwa besar nilai *mass flowrate* gas *syngas* yang dibutuhkan mesin diesel pada AFR reaktor gasifier 1,39 sebesar 0,0003748 kg/s. *Mass flowrate* gas *syngas* yang di *bypass* menunjukkan nilai 0 pada saat sistem dijalankan karena seluruh gas *syngas* masuk kedalam ruang bakar. AFR rata-rata sebesar 14,54, Nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) mengalami peningkatan 68% dari kondisi standar *single fuel*, Nilai *efisiensi thermal* mengalami kenaikan sebesar 7% dari kondisi *single fuel*, Nilai daya rata-rata sebesar 2,28kW, Nilai torsi rata-rata sebesar 10,94 N.m. Solar yang tersibtitusi sebesar 48%. Nilai temperatur (*coolant*, mesin, oil, dan gas buang) pada setiap pembebanan mengalami kenaikan.

Kata Kunci—Motor *diesel*, sistem *dual-fuel*, *syngas*, minyak solar, *municipal solid waste* (msw), gasifikasi *downdraft*.

I. PENDAHULUAN

Municipal Solid Waste (MSW) atau sampah padatan perkotaan adalah jenis sampah umum yang mencakup sampah rumah tangga, sampah badan komersil, sampah di area-area umum dan ada kalanya sampah hasil *treatment plant site* yang dikumpulkan *municipality* dalam wilayah tertentu. Metode Gasifikasi merupakan salah satu metode yang dapat memanfaatkan

sampah rumah tangga tersebut agar dapat menjadi sumber energi yang dapat dimanfaatkan. Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, di mana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Gas ini mempunyai sifat mudah terbakar yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar pada motor pembakaran dalam.

Diesel Dual Fuel (DDF) adalah mesin standar diesel yang ditambahkan bahan bakar lain pada *intake manifold* dan penyalan bahan bakar dilakukan oleh semprotan solar yang disebut *pilot fuel*. Aplikasi *syngas* dengan sistem *dual fuel* pada mesin diesel dapat meningkatkan unjuk kerja dan efisiensi mesin dengan nilai substitusi solar dan *syngas* mencapai 60%., Sudarmanta [3].

Teknologi aplikasi sistem *dual fuel* ada 3 macam, *Low Pressure Injected Gas* (LPIG), *High Pressure Injected Gas* (HPIG), dan *Combustion Air Gas Integration*. Pada eksperimen ini kami menggunakan, *Combustion Air Gas Integration*. Model ini bekerja dengan mencampur udara-bahan bakar gas sebelum memasuki saluran isap atau sebelum memasuki kompresor-turbocharger, apabila mesin diesel yang digunakan adalah *turbocharged system*. Sistem pencampuran dilakukan dengan alat yang dinamakan *mixer* yang diletakkan pada saluran isap mesin diesel. Keuntungan dari pemakaian sistem seperti ini antara lain murah secara ekonomis dibandingkan kedua sistem sebelumnya karena tidak menggunakan injektor maupun pompa bertekanan tinggi, tidak membutuhkan model yang rumit sehingga apabila suplai gas habis atau tersendat sistem akan langsung bekerja dengan 100% bahan bakar diesel. Sementara kerugian dari sistem ini adalah adanya kemungkinan gas sebagian keluar bersama gas buang pada saat katup isap dan buang terbuka bersamaan.

Dari penelitian yang dilakukan oleh, Suliono [4] dengan sistem *dual-fuel*, *syngas* hasil serbuk kayu dan solar dengan mekanisme mengkopel langsung dan *by pass* saluran *syngas* dengan *mixer*. Hasil unjuk kerja dari penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan *syngas* yang keluar dari hasil produksi gasifier dapat menghemat pemakaian solar sebesar 39 % pada pembebanan 2400 watt. Nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) mengalami peningkatan 0,910 kg/hp.h dibandingkan dengan nilai *single fuel*. Serta nilai efisiensi thermal mengalami penurunan 12 % terhadap nilai *single fuel*.

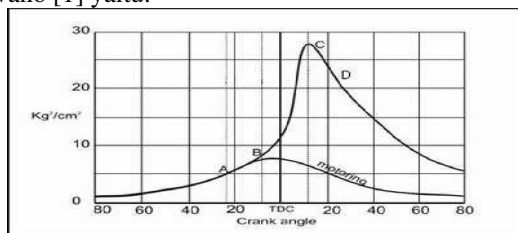
Berdasarkan uraian di atas yang menjelaskan penggunaan *syngas* pada *diesel dual fuel* maka dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakterisasi unjuk kerja sistem *dual fuel gasifier downdraft* dengan umpan yang berasal dari briket *municipal solid waste (MSW)* dan diesel engine generator set 3 KW. Sehingga diharapkan dapat mensinkronisasikan antara kebutuhan *syngas* sistem *dual fuel* terhadap produksi dari reaktor gasifikasi secara langsung (kompak). Apabila massa *syngas* yang masuk kedalam ruang bakar semakin banyak maka akan mengurangi massa udara yang masuk ke ruang bakar, sehingga *AFR* menurun sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna. Dalam penelitian ini dilakukan variasi pada pembebanan (listrik) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik unjuk kerja *dual fuel*, sehingga diharapkan mampu mendapatkan karakter terbaik *syngas* dari gasifier *downdraft*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Teori Mesin Diesel

Mesin diesel bekerja dengan menghisap udara luar murni, kemudian dikompresikan sehingga mencapai tekanan dan temperatur yang tinggi. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. Kemudian butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran, Kawano [1].

Proses pembakaran pada mesin diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P- θ seperti pada gambar 1. Tahapan pembakarannya, Kawano [1] yaitu:



Gambar 1. Tahapan pembakaran pada mesin diesel [2]

1) Tahap Pertama

Ignition delay period yakni waktu dimana bahan bakar siap terbakar namun belum dinyalakan. Ignition delay dihitung dari awal injeksi sampai titik dimana pada kurva p- θ berpisah dengan kurva tekanan udara saja. *Delay period* ditunjukkan oleh titik A-B.

2) Tahap kedua

Rapid atau *uncontrolled combustion* (dapat digolongkan sebagai *pre-mixed flame*) terjadi setelah pengapian. Dalam tahap kedua ini kenaikan tekanan cepat karena selama dalam periode tunda butiran lembut bahan bakar telah mempunyai waktu untuk menyebarkan dirinya sendiri pada daerah yang luas dan mereka telah mendapatkan udara segar disekelilingnya. Periode *rapid* atau *uncontrolled combustion* dihitung mulai dari akhir dari periode tunda sampai dengan tekanan tertinggi pada diagram indikator. Kira-kira sepertiga dari panas terlibat sampai tahap ini.

3) Tahap Ketiga

Controlled combustion, periode kedua dari *rapid* atau *uncontrolled combustion* diikuti oleh tahap ketiga yakni *controlled combustion*. Pada akhir tahap kedua

temperatur dan tekanan membuat butiran lembut bahan bakar yang terinjeksikan pada tahap akhir injeksi terbakar seketika, dan kenaikan tekanan dapat dikontrol dengan cara mekanisme murni yakni pengaturan laju injeksi. Periode *controlled combustion* diasumsi sampai akhir pada temperatur maksimum siklus. Panas yang terlibat sampai akhir *controlled combustion* sekitar 70 %-80 % dari total panas dari bahan bakar yang disuplai selama siklus.

4) Tahap Keempat

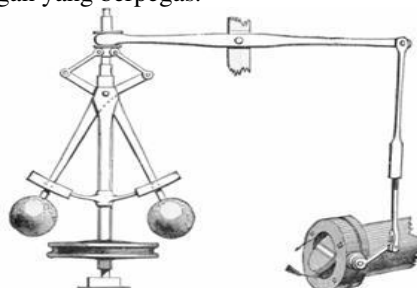
Tahap keempat ini tidak terjadi pada semua kasus pembakaran pada motor CI, *After burning*. Secara teoritis diharapkan proses pembakaran berakhir setelah selesainya tahap ketiga. Namun karena distribusi partikel bahan bakar kurang baik, pembakaran berlanjut pada sisa langkah ekspansi. Dari itulah nama *after burning* atau tahap keempat dikembangkan. Panas total yang terlibat sampai akhir pembakaran adalah 95%-97% sedangkan sisa panas, 3%-5% keluar ke sistem ekshausse sebagai *unbrunt fuel*.

B. Prinsip Kerja Sistem Dual Fuel

Bahan bakar gas ini dicampur dengan udara dalam silinder mesin baik melalui pencampuran langsung di intake manifold dengan udara atau melalui suntikan langsung ke dalam silinder. Sebuah mesin dual fuel pada dasarnya adalah mesin diesel yang dimodifikasi di mana bahan bakar gas, disebut bahan bakar utama, yang dicampur bersama dengan udara dengan menggunakan mixing yang berbentuk venturi yang akan masuk melalui intake manifold. Bahan bakar ini adalah sumber utama energi input ke mesin. Bahan bakar gas utama dikompresi dengan udara, bahan bakar gas memiliki temperatur terbakar sendiri lebih tinggi dibandingkan minyak solar. Sedangkan bahan bakar diesel, biasanya disebut pilot fuel, di injeksi seperti pada mesin diesel biasa di dekat akhir kompresi primer campuran bahan bakar udara. Bahan bakar pilot diesel merupakan yang melakukan pengapian pertama dan bertindak sebagai sumber pengapian untuk pembakaran dari campuran bahan bakar udara gas. Bahan bakar pilot diesel, yang diinjeksi ke ruang bakar hanya menyumbang sebagian kecil dari tenaga mesin yang dihasilkan.

C. Governor pada Mesin Diesel

Governor adalah komponen pada motor bakar yang berfungsi untuk mengontrol putaran mesin dengan cara mengendalikan jumlah bahan bakar yang diberikan sehingga putarannya dapat dipertahankan tetap stabil tanpa tergantung kondisi pembebanan. Contoh umum dari mekanisme *governor* adalah *governor* sentrifugal atau dikenal sebagai *watt governor* atau *fly-ball governor*, model ini menggunakan bandul yang dipasang pada lengan yang berpegas.



Gambar 2. Governor sentrifugal

III. METODE PENELITIAN DAN ALAT UJI

A. Metode Penelitian

Pengujian dilakukan pada mesin diesel constant speed electrical dynamometer. Pengujian dilakukan pada mesin sebagai alat uji dengan poros utama yang telah terkopel langsung dengan electrical generator sebagai *electrical dynamometer*. *True experimental method* pada penelitian ini dibagi atas 2 (dua) kelompok, yaitu:

1. Kelompok kontrol adalah mesin diesel menggunakan minyak solar,
2. Kelompok uji adalah mesin diesel menggunakan *dual-fuel system*.

B. Alat Uji

Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :



Gambar 3. Satu set engine diesel (Yanmar)-Generator (Noqiwa)

1) Mesin diesel dengan spesifikasi :

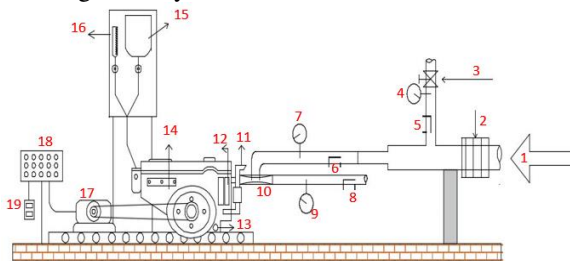
- Merk : Yanmar
- Model : TF 55 R
- Sistem pembakaran : *direct injection*

2) Generator listrik / electrical dynamometer dengan spesifikasi :

- Merek : Noqiwa
- Model : ST-3

C. Skema Percobaan

Percobaan ini dilakukan untuk mendapatkan AFR_{mesin} yang baik, agar bahan bakar yang digunakan dapat terbakar dengan sempurna. Dan mengurangi konsumsi solar dengan adanya sistem dual fuel tersebut.



Gambar 4. Skema percobaan

Keterangan

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 1. Gas syngas hasil gasifier | 11. Temperatur gas buang |
| 2. Saringan syngas | 12. Temperatur Pendingin |
| 3. Valve syngas yang dibypass | 13. Temperatur oli |
| 4. Flowmeter syngas yang di bypass | 14. Temperatur mesin |
| 5. Pitot tube syngas yang di bypass | 15. Tank solar |
| 6. Pitot tube syngas yang ke mesin | 16. Gelas ukur |
| 7. Flowmeter syngas ke mesin | 17. Generator set |
| 8. Pitot tube udara ke mesin | 18. pembebanan |
| 9. Flowmeter udara ke mesin | 19. Voltage dan ampere |
| 10. Mixer | |

D. Rancangan Eksperimen

TABEL 3.1 PARAMETER EKSPERIMEN

Konstan	Bervariasi		Parameter Output	
	AFRgasifier	Beban Listrik	Diukur	Dihitung
- Type generator set mesin Diesel	• AFRgasifier 1 = ...	• Pembebanan listrik 200W-2000W dengan interval 200W	- t konsumsi bahan bakar solar 25ml	- Unjuk kerja mesin diesel dual fuel : Daya, torsi, bmep, sfc, dan efisiensi.
- Putaran mesin diesel 2000 rpm			- m masuk pada intake	- AFR _{mesin}
- Bahan bakar: syngas dan solar	• AFRgasifier 2 = ...	• Pembebanan listrik 200W-2000W dengan interval 200W	- m syngas yang Bypass	- Solar tersubstitusi
- Metode pemasukan syngas dengan mixer.			- m udara	
- Volume gelas ukur bahan bakar solar 25 ml	• AFRgasifiers = ...	• Pembebanan listrik 200W-2000W dengan interval 200W	- Suhu Operational: T air pendingin, T udara, T syngas, T gas buang, dan T oli pelumas	
			- Beban : Volt dan Arus	

IV. HASIL DAN ANALISA

Berdasarkan hasil uji kandungan yang ada dalam gas yang berasal dari briket *municipal solid waste* adalah sebagai berikut:

TABEL 4.1 TABEL BESARNYA KOMPOSISI KANDUNGAN SYNGAS YANG BERASAL DARI BRIKET *MUNICIPAL SOLID WASTE* (MSW).PADA AFR REAKTOR 0,72 ; DT 15%.

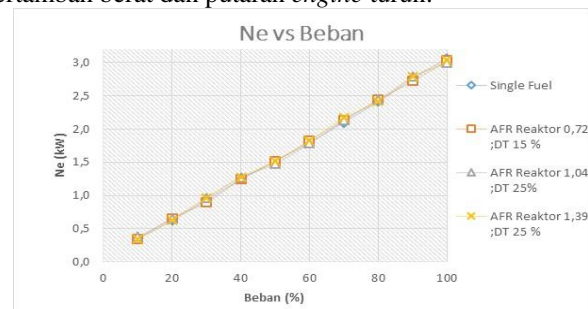
Komposisi	Persentase volume (%)	ρ (Kg/m ³), pada T = 305 K [15]	μ (10 ⁻⁵ Pa S), pada T = 20 ° C [15]
CO	7,99	1,087	1,74
H ₂	7,60	0,078	0,88
CH ₄	0,04	0,502	0,99
CO ₂	6,74	1,722	1,47
N ₂	61,99	1,092	1,76
O ₂	15,65	1,248	2,04

TABEL 4.2 TABEL NILAI HL V MASING-MASING VARIASI AFR REAKTOR DENGAN BESARAN DUTY CYCLE 15%, 20% DAN 25%

Duty cycle (%)	laju alir massa udara (kg/s)	Nilai Kalor bawah (LHV) gas yang terbakar	Nilai Kalor bawah (LHV) Syngas (kJ/m ³)	Massa jenis ρ Syngas (kg/m ³)	Nilai Kalor bawah (LHV) Syngas (kJ/kg)
		Air fuel ratio (rasio udara bahan bakar)			
15	0,00018	0,72	3743,96	1,08	3463,81
20	0,00052	1,04	3466,87	1,08	3747,00
25	0,00085	1,39	3139,62	1,06	3321,64

A. Hasil analisa Daya (Ne)

Grafik nilai daya di bawah mempunyai *Trend* nilai daya naik seiring dengan meningkatnya nilai beban yang diterima. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya beban listrik maka jumlah minyak solar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan lebih banyak untuk menjaga putaran *engine* konstan, karena pada saat beban listrik ditambah maka beban putaran generator bertambah berat dan putaran *engine* turun.

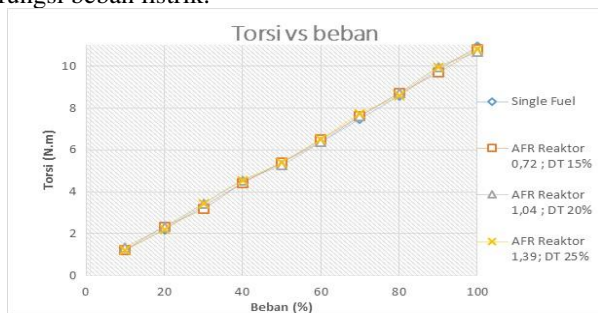


Gambar 5. Grafik Daya efektif fungsi beban listrik

Pada grafik di atas terlihat kecenderungan bahwa tidak ada perbedaan nilai daya yang dihasilkan antara pengoperasian *dual-fuel* dan *single-fuel*. Hal ini disebabkan oleh karena pada pengoperasian *dual-fuel*, putaran mesin dijaga konstan untuk mendapatkan tegangan listrik yang stabil, dengan mengatur jumlah pasokan laju alir minyak solar dengan mekanisme *governor*. Laju alir massa bahan bakar gas yang masuk dijaga konstan. Sesuai dengan bukaan kran yang disularkan secara langsung menuju engine.

B. Hasil analisa Torsi (Mt)

Grafik torsi meningkat seiring dengan meningkatnya beban yang diterima mesin. Pada pengujian kali ini putaran mesin berputar secara *stasioner*, maka perubahan nilai torsi bergantung variasi daya efektif yang pada akhirnya bentuk grafik yang ditunjukkan sama dengan bentuk grafik yang ditunjukkan oleh grafik daya efektif fungsi beban listrik.

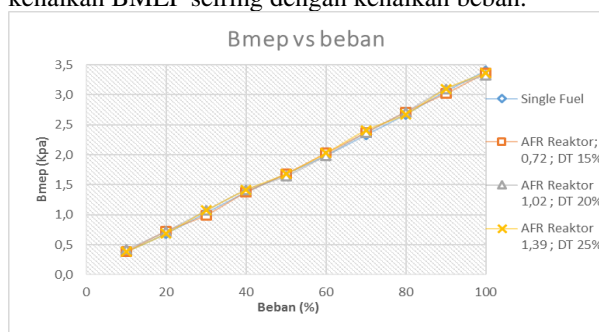


Gambar 6. Grafik Torsi fungsi beban listrik

Pada grafik ini didapatkan tidak ada perbedaan signifikan antara nilai torsi sistem *single-fuel* dan *dual-fuel*, hal ini dikarenakan perubahan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator juga relatif kecil karena putaran mesin yang dijaga konstan di putaran 2000 rpm dengan melakukan kontrol pada pemasukkan bahan bakar minyak solar menggunakan mekanisme *governor*.

C. Hasil analisa Brake Mean Effective Pressure (BMEP)

Grafik bmeep terlihat mempunyai kecenderungan *linear* naik seiring dengan bertambahnya beban. Apabila ditinjau dari fenomena yang terjadi di dalam mesin, kenaikan beban akan menyebabkan perubahan *air-fuel ratio* (AFR) ke arah campuran kaya bahan bakar. Semakin banyak bahan bakar yang diledakkan di ruang bakar, maka tekanan ekspansi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya kenaikan BMEP seiring dengan kenaikan beban.



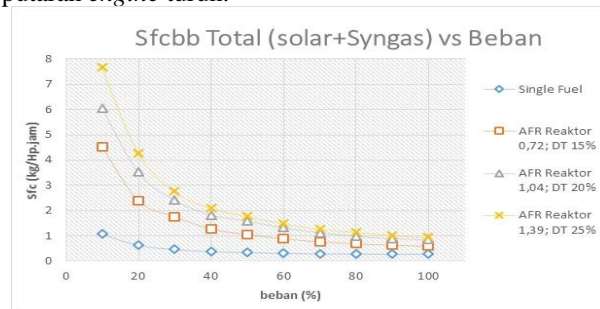
Gambar 7. Grafik Bmep fungsi beban listrik

Grafik juga menunjukkan tidak ada perbedaan tekanan rata-rata yang signifikan antara sistem *single fuel* dan *dual fuel*, hal ini disebabkan perubahan nilai arus dan

tegangan yang dihasilkan oleh generator juga relatif kecil karena putaran mesin yang dijaga konstan di putaran 2000 rpm.

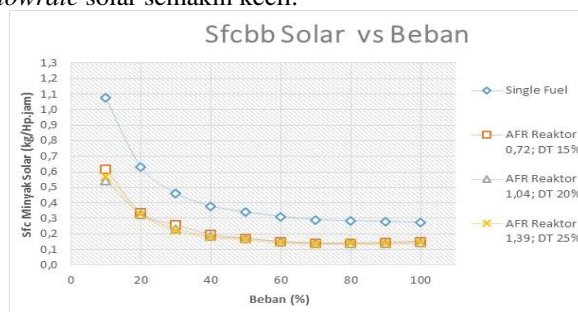
D. Hasil analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc)

Grafik dibawah secara umum menunjukkan bahwa nilai SFC semakin turun seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya beban listrik maka jumlah minyak solar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan lebih banyak untuk menjaga putaran *engine* konstan, karena pada saat beban listrik ditambah maka beban putaran generator bertambah berat dan putaran *engine* turun.



Gambar 8. Grafik SFC Total dual fuel fungsi beban listrik

Demikian pula saat penggunaan *syngas*, ketika konsumsi *syngas* di jaga konstan untuk setiap pembebanan, *mass flowrate syngas* tidak berubah. Dengan penambahan *mass flow syngas* akan mengakibatkan waktu yang diperlukan untuk konsumsi minyak solar semakin lama. Namun, seiring dengan penambahan beban dan *mass flowrate syngas* yang konstan, waktu konsumsi solar akan menurun. Sehingga nilai *sfc* menurun dengan penambahan beban, pada tekanan yang sama. Untuk pembebanan yang sama, nilai *sfc* semakin turun dengan bertambahnya tekanan *syngas*. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *syngas* akan menyebabkan *mass flowrate syngas* naik dan *mass flowrate solar* semakin kecil.



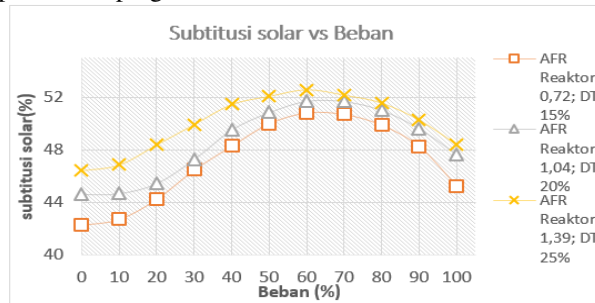
Gambar 9. Grafik SFC solar fungsi beban listrik

Pada gambar diatas ditunjukkan perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik minyak solar saja untuk *single-fuel* dan pada saat *dual-fuel* dioperasikan. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa secara umum konsumsi minyak solar *dual* mengalami penurunan dari kondisi berbahan bakar solar *single*. Dengan adanya penambahan jumlah *syngas* yang masuk ke dalam ruang bakar melalui variasi *mass flow rate syngas*, berarti jumlah *syngas* yang masuk ke ruang bakar dapat menggantikan sejumlah bahan bakar minyak solar untuk mendapatkan daya yang dibutuhkan untuk mengatasi beban listrik

E. Hasil analisa Bahan Bakar Solar Tersibtitusi

Pada gambar diatas dapat dilihat jumlah persentase minyak solar yang digantikan oleh *syngas* setiap penambahan *syngas* dan beban listrik. Setiap kenaikan laju alir massa *syngas*, maka besarnya jumlah persentase minyak solar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar untuk menjaga putaran mesin konstan akan semakin turun. Sehingga jumlah persentase minyak solar yang digantikan akan semakin besar.

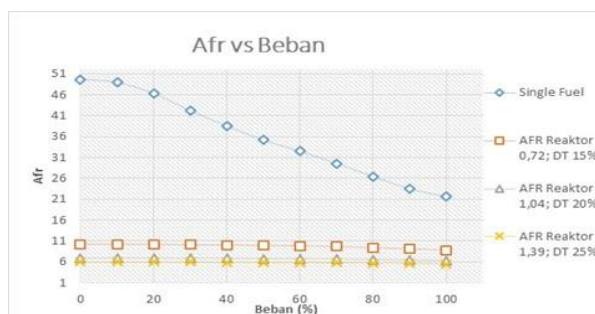
Saat beban listrik semakin besar, jumlah minyak solar semakin banyak untuk menjaga putaran konstan sehingga persentase penggantian semakin kecil.



Gambar 10. Grafik substitusi solar fungsi beban listrik

Pada grafik tersebut terlihat bahwa jumlah persentase penggantian minyak solar yang terbesar terjadi pada *duty cycle* 25% pada pembebanan 60 %. Hal ini disebabkan *syngas* menjalani perannya sebagai *secondary fuel* dengan baik, meskipun perannya tidak dapat menggantikan minyak solar 100 %.

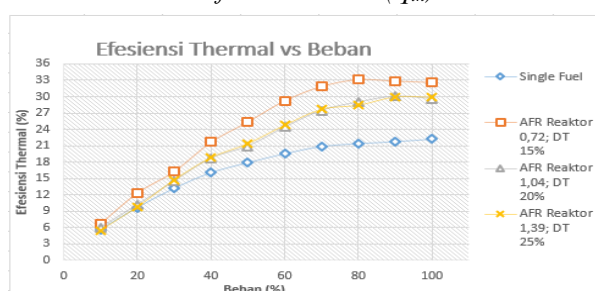
F. Hasil analisa rasio udara-bahan bakar



Gambar 11. Grafik AFR fungsi beban listrik

Pada setiap penambahan *mass flow rate syngas* menunjukkan trend grafik yang menurun. Bertambahnya beban listrik menyebabkan AFR berkurang karena pada ruang bakar bahan bakar menjadi semakin kaya dan kekurangan asupan udara sehingga bahan bakar tercampur tidak stokiometri, hal ini disebabkan untuk mengatasi pertambahan beban, mesin harus menghasilkan daya yang besar pula. Daya yang membesar ini dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang sempurna antara campuran udara dan bahan bakar.

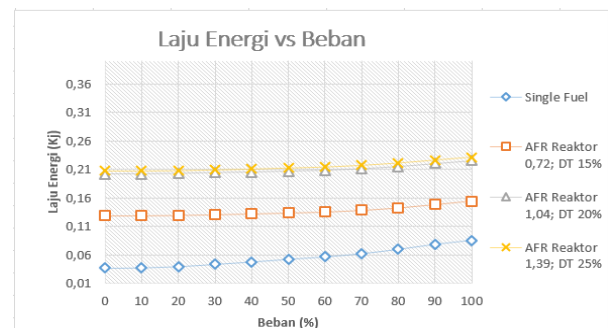
G. Hasil analisa Efisiensi Termal (η_{th}).



Gambar 12. Grafik Efisiensi thermal fungsi beban listrik

Dapat dilihat bahwa faktor yang membuat nilai efisiensi termal semakin naik adalah nilai laju alir massa *syngas*, nilai ini mempengaruhi nilai effisiensinya yang semakin naik. Dan nilai dari LHV *mass flowrate syngas* yang rendah dan LHV solar dengan *mass flowrate* yang tinggi mengakibatkan nilai pembanding dari rumus diatas mengalami kenaikan. Hal ini dapat terlihat pada *duty cycle* 15 % sampai dengan 25% yang mengalami kenaikan *effisiensi thermal*, sehingga pembakaran cukup optimal. Karena mesin diesel memiliki efesiensi thermal rata-rata diatas 30 %.

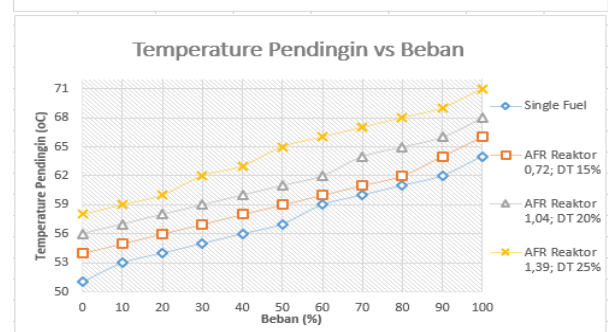
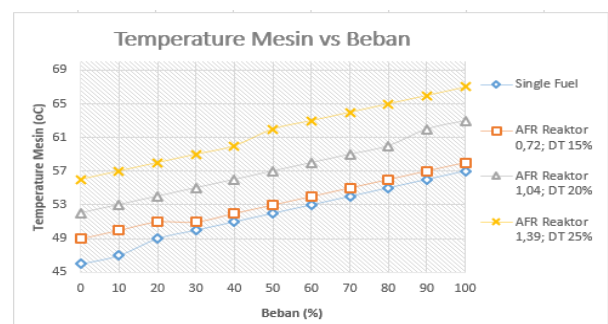
H. Hasil analisa Jumlah Energi per Siklus

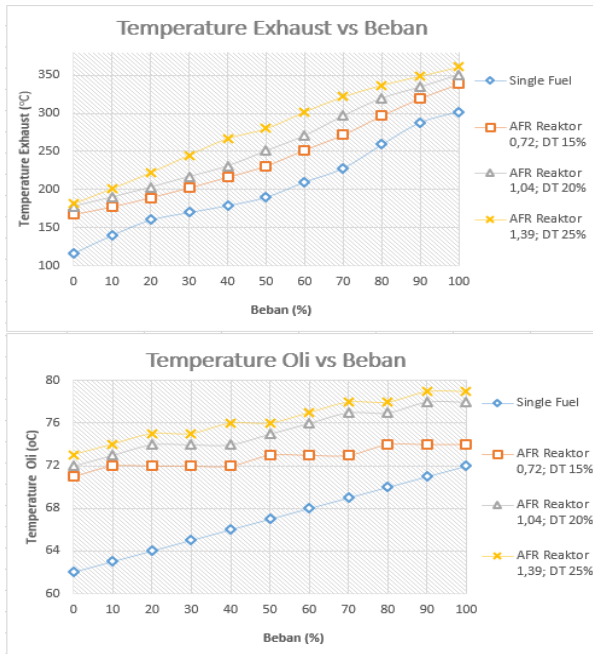


Gambar 13. Grafik Laju energi Per siklus fungsi beban listrik

Dari grafik ini pula didapatkan nilai laju energi pada pengoperasian *dual fuel* lebih tinggi dibandingkan pengoperasian *single fuel*. Hal ini disebabkan untuk setiap siklus pada setiap daya yang sama dengan adanya penambahan gas menyebabkan proses pencampuran bahan bakar menjadi lebih baik, sehingga untuk setiap siklus yang sama kebutuhan energi yang digunakan untuk proses pembakaran menjadi lebih baik untuk pembebanan yang sama pada setiap siklusnya.

I. Analisa Temperatur Engine, Air pendingin, Oli dan Gas buang





Gambar 14. Grafik Temperatur fungsi beban listrik

Gambar diatas menunjukkan grafik temperatur *engine*, *pendingin*, *oli* dan *gas buang* terhadap beban. Semua kondisi grafik pada gambar diatas memiliki tren yang sama, yaitu terjadi kenaikan temperatur seiring beban mesin. Semakin meningkatnya beban maka jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan semakin banyak, sehingga panas pembakaran yang dilepas ke dinding silinder juga semakin banyak, sehingga temperatur *engine* pun naik. Dan ketika dimasukkan bahan bakar *syngas* maka nilai dari *LHV* bahan bakar menjadi naik yang mengakibatkan pembakaran diruang bakar menjadi lebih besar, maka pelepasan kalor akan menjadi lebih besar.

V. KESIMPULAN

Unjuk kerja *diesel engine generator set* yang dioperasikan menggunakan *dual fuel* mengalami perubahan dibandingkan dengan *single fuel*. Perubahan-perubahan tersebut antara lain:

- Daya, Torsi dan BMEP mengalami penurunan dibandingkan *single fuel*, jika pada *single fuel* (daya = 2,28; Torsi = 10,94; dan BMEP = 3,40) maka pada *dual fuel* yaitu (Daya = 2,24; Torsi = 10,69; dan BMEP = 3,).

- Untuk *SFC* pada *dual fuel* mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan *single fuel*, yaitu sebesar 0,95 kg/Hp.h maka pada *single fuel* adalah 0,277 kg/Hp.h.
- Untuk efisiensi thermal mengalami kenaikan, jika pada *single fuel* sebesar 22,26 % maka pada *dual fuel* sebesar 29,92 %.

Dengan mekanisme mengkoppel langsung dan *by pass* saluran *syngas* dengan *mixer* yang dipasang pada saluran hisap memungkinkan mekanisme *dual fuel* dapat bekerja secara langsung tanpa penyimpanan *syngas* terlebih dahulu pada tabung bertekanan.

- Dengan menggunakan bahan bakar ganda pada mesin diesel *dual fuel* Dapat menghemat solar jika menggunakan *syngas* pada mesin diesel *dual fuel* yaitu sebesar rata-rata pada setiap variasi AFR Reaktor dengan *duty cycle* 15 sampai dengan 25% Yaitu sebesar 48 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis, Achmad Rizkal, mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang telah memberikan kritik dan saran untuk penulisan artikel ini. Penulis Juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar penulis yang memberikan dukungan baik secara moral dan finansial dalam penyusunan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kawano, D. Sungkono. 2014. *Motor Bakar Torak (Diesel)*. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
- [2] Mathur, M.L.,& Sharma, R.P. 1980. *A Course in Internal Combustion Engine 3rd edition*, Dhanpat Rai & Sons, Nai Sarak, Delhi.
- [3] Sudarmanta, Bambang,. 2015. *Dual Fuel Engine Performance Using Biodiesel and Syn-Gas from Rice Husk Downdraft Gasification for Power Generation*. International Seminar, Mechanical Engineering Department, Faculty of Technology Industry, Sepuluh Nopember Institut of Technology Surabaya, Indonesia.
- [4] Suliono. 2015. *Karakterisasi Unjuk Kerja Sistem Dual Fuel Gasifier Downdraft Serbuk Kayu dan Diesel Engine Generator Set 3 KW*. Tesis. Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya.
- [5] N.Tippawong, A., Promwungkwa, P., Rerkkriangkrai. 2006. *Long-term Operation of A Small Biogas/Diesel Dual-Fuel Engine for On-Farm Electricity Generation*, Chiang Mai University, Thailand.